

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

¹Голованов С. А., ²Уманский А. Б.

¹Уральский Федеральный Университет, институт радиоэлектроники и информационных технологий – РмФ E-mail: botysan1@gmail.com

²НПО автоматики, Начальник сектора E-mail: pdwn1982@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается проблема оценки вероятности возникновения одиночного сбоя в аппаратуре при выполнении ключевых программ отвечающих за работоспособность системы. В ходе работы была проанализирована связь временных и емкостных характеристик программ, были получены соотношения позволяющие определять характеристики программ необходимые для достижения заданных вероятностных величин.

Ключевые слова Программная эффективность, надежность, программно-аппаратный комплекс.

ASSESSMENT OF OPERABILITY SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

¹Golovanov S. A., ²Umansky A. B.

¹Ural Federal University, Institute of Radioelectronics and Information Technologies E-mail: botysan1@gmail.com

²SPA of Automatics, Sector chief E-mail: pdwn1982@yandex.ru

Abstract: The article considers the problem of evaluation of the likelihood of a single failure in the equipment when performing key programs responsible for the operability of the system. The article has been analyzed relations temporal and capacitive characteristics of the program were obtained ratio by which one can define the characteristics of programs needed to achieve defined values of probability.

Key words Program efficiency, reliability, software and hardware system

Введение

В настоящее время центральным элементом в современных системах автоматического управления (САУ) является цифровая вычислительная система (ЦВС)[1].

На сегодня складываются тенденции к улучшению (уменьшению) масса-габаритных характеристик ЦВС. Данное улучшение иногда влечет за собой ухудшение защитных характеристик, таких как толщина защитного кожуха, мажоритирование и т.д., что влечет за собой увеличение негативного влияния факторов окружающей среды на внутреннюю аппаратуру ЦВС. В свою очередь вероятность возникновения сбоя при работе ЦВС напрямую связанна с сопротивляемостью аппаратуры внешним воздействиям.

На практике для ЦВС снижение масса-габаритных характеристик ведет к увеличению числа задач решаемых программными средствами, в том числе задач связанных с обеспечением работоспособности ЦВС. Поэтому на практике бывает необходимо оценивать программно-аппаратный комплекс со стороны вероятности возникновения сбоя во время выполнения ключевых программ, таких как программы восстановления, контроля информации, выдачи и обработки команд периферии, в конкретных условиях эксплуатации.

Оценка вероятности появления одиночных сбоев в аппаратуре

Основной опасностью для аппаратуры системы управления, функционирующей в экстремальных условиях, являются дозовые и одиночные радиационные эффекты, электромагнитные эффекты и т.д.[2] вызываемые внешней средой и приводящие к сбоям в работе аппаратуры.

Данные воздействия можно описать формулой вероятности возникновения одиночного сбоя аппаратуры, экспоненциальная составляющая была получена экспериментально и связана с постепенной деградацией характеристик электронной аппаратуры[3]:

$$P(t) = 1 - e^{-kt} \quad (1)$$

Где:

t - время нахождения аппаратуры в агрессивной среде во включенном состоянии, с;

k - частота возникновения одиночных эффектов (сбоев или отказов) в аппаратуре, с⁻¹.

Частота возникновения одиночных эффектов во всей аппаратуре имеет вид[3]:

$$k = \sum_{i=1}^{i=l} \left[n_i \sum_{j=1}^{j=m} \sigma_{ij} F_{ij}(\geq L_{0ij}) \right] \quad (2)$$

где:

σ_{ij} - значение насыщения сечения возникновения одиночных эффектов (сбоев или отказов) при воздействии j -го типа в элементе i -го типа, мм²;

F_{ij} - интегральный спектр линейной передачи энергии средней плотности потока при воздействии j -го типа, част./мм²·с;

L_{0ij} - пороговое значение линейной передачи энергии, при котором возникают одиночные эффекты (сбои или отказы) от воздействия j -го типа в элементе i -го типа, МэВ·мм²/мг;

l - количество типов элементов (транзисторы МП, регистры, микросхемы памяти), используемых в аппаратуре;

m - количество типов воздействий (дозовые и одиночные радиационные эффекты, электромагнитные эффекты и т.д.), оказывающих влияние на аппаратуру;

n_i - количество элементов i -го типа, используемых в аппаратуре.

Анализ связи вероятности возникновения одиночных сбоев с характеристиками программно-аппаратного комплекса

При работе ЦВС возможно возникновение сбоев в различных элементах системы. Сбои ведущие к искажению ячеек памяти и работы микропроцессора влекут за собой возникновение непредвиденных ситуаций, в особенности при выполнении программ. На практике зачастую выделяют наиболее важные программы, отвечающие за работоспособность системы, например, программы настройки модулей, восстановления информации и т.д.[4] Исполнение данных программ влияет на работоспособность ЦВС, поэтому бывает необходимо оценивать вероятность появления одиночных эффектов в элементах используемых программой при ее выполнении.

В упрощенном виде с точки зрения аппаратуры программы используют память и микропроцессор. Для оценки вероятности возникновения сбоя в них можно использовать формулы (1) и (2). Преобразуем формулу (1) к виду вероятности бессбойной работы:

$$1 - P_{\text{ПО}}(t) = e^{-(k_{\text{п}} + k_{\text{мн}})t} \quad (3)$$

где:

$P_{\text{ПО}}$ – вероятность возникновения одиночного сбоя во время выполнения программного обеспечения (ПО);

$k_{\text{н/мн}}$ – частота возникновения одиночных сбоев в используемой памяти и микропроцессоре, с^{-1} ;

t – время выполнения ПО, с.

Поскольку на этапе программирования конструкция ЦВС является уже утвержденной и не подлежит изменениям, поэтому примем коэффициент $k_{\text{мн}}$ постоянным, а $k_{\text{п}}$ будет иметь вид:

$$k_{\text{п}} = n_{\text{п}} \sum_{j=1}^{j=m} \sigma_{\text{п}j} F_{\text{п}j}(\geq L_{0\text{п}j}) \quad (4)$$

Где $n_{\text{п}}$ – количество используемой памяти программ в ячейках микросхемы.

Как видно из (4) коэффициент $k_{\text{п}}$ имеет зависимость от количества элементов и их качества $F(L_{0\text{п}j})$, а из формулы (3) видно влияние времени выполнения программы ЦВС.

Таким образом, получаем зависимость вероятности возникновения аппаратного сбоя, зависящей от емкостной и временной характеристики программы. При подстановке коэффициента формулы (4) в формулу (3) видно, что при увеличении времени работы программы (переменная t) и/или объемов используемой памяти (переменная $n_{\text{п}}$) вероятность возникновения одиночного сбоя растет (Рис.1). Иными словами, используя формулы (3) и (4), можно сказать, будет ли ПО эффективно функционировать на данной аппаратуре и в данных условиях.

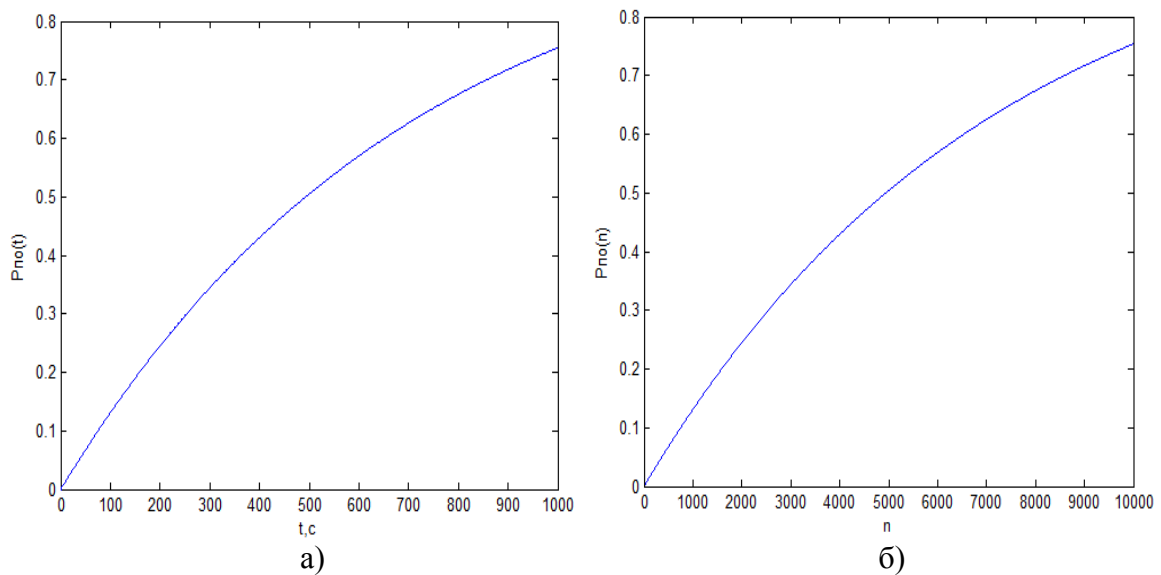


Рисунок 1. Зависимость вероятности возникновения сбоя от: а) времени (при n-const) б) объемов программы (при t-const)

На практике вероятность возникновения аппаратного сбоя в элементах памяти и микропроцессора за время выполнения наиболее важных программных компонентов стараются сделать близкой к 0%, однако в условиях космоса это не возможно, поэтому при конструировании системы выбирают «приемлемое» значение данной вероятности исходя из расчетов и требований руководящей документации. Соответственно можно рассчитать такой безразмерный коэффициент x :

$$\min_{n_{\pi} \rightarrow 0} P_{\pi 0}(t) = 1 - e^{-k_{\text{мп}} \Delta t}$$

Где Δt –приращение времени, в данном случае равное длительности одного такта микропроцессора, с.

Переменные Δt и $k_{\text{мп}}$ – постоянные, определяемые характеристиками микропроцессора.

Откуда следует, что целесообразно выбирать «приемлемое» значение вероятности возникновения сбоя такое, чтобы выполнялись условия:

$$\begin{cases} P_{\pi 0 \text{пр}}(t) = 1 - e^{-x} \\ P_{\pi 0 \text{пр}}(t) > \min_{n_{\pi} \rightarrow 0} P_{\pi 0}(t), \text{ при } x > k_{\text{мп}} \Delta t \end{cases}$$

Где $P_{\pi 0 \text{пр}}$ – «приемлемое» значение вероятности возникновения сбоя.

Тогда с учетом формул (3) и (4):

$$e^{-x} = 1 - P_{\pi 0 \text{пр}}(t) \leq e^{-(n_{\pi} \sum_{j=1}^m \sigma_{\pi j} F_{\pi j} (\geq L_{0 \pi j}) + k_{\text{мп}}) t}$$

Откуда можно получить соотношение памяти к времени выполнения ПО, при котором будет достигнуто желаемое значение вероятности возникновения одиночного аппаратного сбоя при выполнении ПО:

$$n_{\pi} \leq \frac{x - k_{\text{мп}} t}{t \sum_{j=1}^{j=m} \sigma_{\pi j} F_{\pi j} (\geq L_{0\pi j})}$$

$$t \leq \frac{x}{n_{\pi} \sum_{j=1}^{j=m} \sigma_{\pi j} F_{\pi j} (\geq L_{0\pi j}) + k_{\text{мп}}}$$

Используя данные соотношения в процессе программирования можно оценить характеристики программ при заданном значении второй величины, соответственно итеративным процессом доработки ПО можно добиться необходимых временных и емкостных характеристик программ, при которых реализуется требуемое значение вероятности сбоя. Так же из данных соотношений видна связь между переменными t , n_{π} и $P_{\text{по}}$. Пример зависимости приведен на рис. 2.

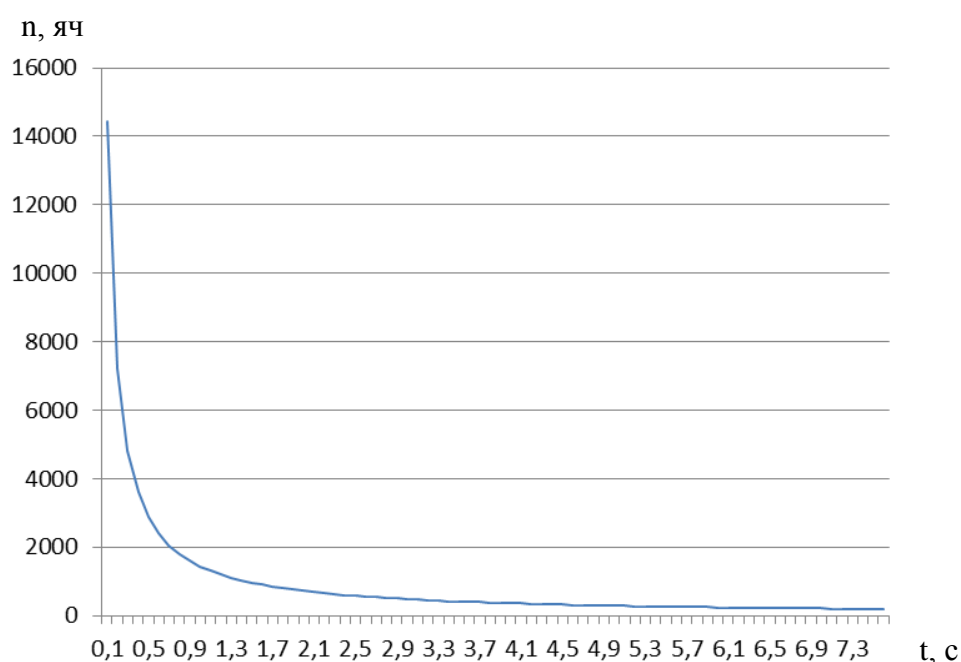


Рисунок 2. Соотношение между объемом ПО и временем его выполнения для достижения заданной вероятности возникновения одиночного сбоя

На практике данные соотношения позволяют решить ряд вопросов:

- до какой степени оптимизировать программы;
- какую характеристику оптимизировать (временную, емкостную);
- выбора алгоритмов;
- необходимость доработки аппаратуры.

Заключение

Полученные соотношения позволяют, на этапе разработки и подготовки аппаратуры, определять емкостные и временные характеристики программного комплекса ЦВС необходимые для достижения требуемых вероятностных характеристик работоспособности.

Список литературы

1. Уманский А.Б. Бортовые цифровые вычислительные системы семейства «Малахит» для работы в экстремальных условиях / В.М. Антимиров, А.Б. Уманский, Л.Н. Шалимов // Вестник СГАУ. 2013. №4(42). С.19-27.
2. Тарараксин А.С. Методики исследования и предотвращения развития катастрофического отказа вследствие одиночного тиристорного эффекта / А.С. Тарараксин, Р.Р. Нигматуллин, Д.В. Савченков, С.А. Соловьев, А.В. Яненко // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем: сборник трудов научно-технической конференции М.: ИППМ РАН, 2012. С.628-633.
3. Шишонов Н.А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники / Шишонов Н.А. Репкин Ф.В. Барвинский Л.Л.// Изд.2 М.: «Советское радио», 1964. 551 с.
4. Леонтьев А.В. Вычислительный модуль повышенной надежности для систем управления космическими аппаратами / А.В. Есиновский, А.В. Леонтьев, А.Б. Уманский // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2014. С.67-72

References

1. Umansky AB On-board digital computing system family "Malachite" to work in extreme conditions / VM Antimirov, AB Umansky, LN Shalimov // Bulletin of Samara State Aerospace University. 2013. №4 (42). P.19-27.
2. Tararaksin AS Methods of research and development to prevent catastrophic failure due to the effect of a single thyristor / AS Tararaksin, RR Nigmatullin, DV Savchenko, SA Solovyov, AV Yanenka // Problems of development of advanced micro- and nanoelectronic systems: a collection of the works of scientific and technical conference M.: IPPM RAS, 2012. P.628-633.
3. Shishonok NA Basic theory of reliability and maintenance of electronic equipment / NA Shishonok Repkin FV Barvinsky LL Izd.2. // M.: "Soviet Radio", 1964. 551 p.
4. Leontyev AV Computing module of high reliability for control of space vehicles / AV Esinovsky, AV Leontiev, AB Umansky // Questions of Electromechanics. Proceedings VNIIEМ. 2014. P.67-72